棉秆营养价值研究及其对绵羊营养物质消化代谢、生长和羊肉安全性的影响

张国庆[1,2]　雒秋江[1*]　臧长江[1]　李凤鸣[1]　张积荣[2]

（1.新疆农业大学动物营养实验室，乌鲁木齐 830052；2.伊犁职业技术学院，伊宁 835000）

摘　要：本研究通过测定棉秆部位比例及其概略养分、绵羊对棉秆整体消化率、绵羊对棉秆饲粮的自由采食量、消化代谢和饲喂棉秆饲粮对绵羊生长、屠宰性能、羊肉安全的影响，旨在对棉秆的饲料特性、营养价值与棉秆饲粮营养价值及饲喂棉秆饲粮的绵羊羊肉安全性进行综合评价。本研究中试验 1 测定棉秆不同部位比例及概略养分；试验 2 在限饲条件下，以差数法测定绵羊对棉秆的消化率；试验 3 采用自身对照设计，以玉米秸秆饲粮为对照，测定绵羊对棉秆饲粮的消化代谢；试验 4 通过 120 d 的饲喂试验，研究玉米秸秆饲粮和棉秆饲粮对绵羊生长及屠宰性能的影响，并测定棉秆组绵羊组织样中游离棉酚和主要农药残留含量。结果表明：棉秆中粗茎、细枝、叶和棉桃壳比例分别为 31.48%、10.99%、17.12%和 40.41%，棉秆的有机物、粗蛋白质、纤维素、半纤维素和木质素含量分别为 90.00%、6.40%、34.80%、15.60%和 10.30%。绵羊对棉秆干物质、有机物、粗蛋白质、纤维素、半纤维素、能量、钙和磷的（表观）消化率分别为 38.20%、38.00%、1.58%、60.50%、58.10%、44.10%、57.80%和 45.00%，消化能为 10.28 MJ/kg DM。饲喂棉秆饲粮绵羊的有机物、纤维素、能量表观消化率比饲喂玉米秸秆饲粮分别低 5.30%、10.00%和 13.60%，钙、磷表观消化率分别高 52.40%和 36.70%，饲喂 2 种饲粮绵羊间的自由采食量和粗蛋白质表观消化率均无显著差异（P>0.05）。饲喂棉秆饲粮和玉米秸秆饲粮绵羊间的平均日增重、胴体重和胴体瘦肉重均无

收稿日期：2018-02-01

基金项目：新疆维吾尔自治区科技厅科技支撑项目(201431128)

作者简介：张国庆（1980—），男，安徽利辛县人，博士研究生，研究方向为反刍动物营养与饲料科学。E-mail: 1336017926@qq.com

*通信作者：雒秋江，教授，博士生导师，E-mail: qjl@xjau.edu.cn

显著差异（$P>0.05$）。饲喂棉秆饲粮的绵羊组织样中游离棉酚及主要农药残留含量的检测结果为均未检出。本研究表明，棉秆中棉桃壳、细枝和叶 3 部分比例之和约 70%，可采食、可利用部分资源量较大；棉秆是一种能量营养低于玉米秸秆、钙磷营养高于玉米秸秆的粗饲料，其木质素含量较高，粗蛋白质表观消化率极低（在生产中可计为 0）；棉秆饲粮组与玉米秸秆饲粮组对绵羊增重、屠宰性能的影响无显著差异，二者的饲喂效果相当；饲喂棉秆饲粮的绵羊组织样中未检出游离棉酚及主要农药残留，其食品安全性未受到影响。

关键词：棉秆；绵羊；消化代谢；生长；羊肉安全性

中图分类号：S816　　　　文献标识码：A　　　　文章编号：

中国棉花种植面积较大，但是，将棉花秸秆作为粗饲料的研究不多。新疆是我国棉花种植的主要地区，2017 年棉花播种面积约 193 万 hm^2，占全国比重超过 60%。棉花收获后，将棉花地作为冬季放牧场所十分常见，资源量十分巨大。近年来，随着牛羊饲养规模的不断扩大，粗饲料缺乏问题已经日益凸显，尤其是南疆地区。目前，棉秆的饲料化利用已受到各方面的关注。国外棉花秸秆作为粗饲料的研究未见报道。国内关于棉秆作为牛羊饲料的研究也并不多，许国英等[1]曾报道了棉秆不同部位的概略养分含量，研究认为棉秆在其主要营养方面也是比较丰富的，可作为纤维饲料应用。魏敏等[2]曾进行了绵羊棉秆饲粮消化代谢的试验，试验结果表明，粉碎棉秆作为粗饲料可被绵羊采食和利用。方雷等[3]研究棉秆饲粮制颗粒对绵羊消化代谢影响的试验，结果表明，粉碎棉秆作为绵羊饲粮，其营养价值仅次于玉米秸秆，优于小麦秸和稻草。棉秆饲料化相关报道认为棉秆资源可以作为牛羊饲料加以利用[4-10]。然而，现有的报道均未做系统性的研究，棉秆作为绵羊粗饲料研究的数据仍然缺乏。本文系统地研究了棉秆各部位（叶、枝、杆等）占整个植株的比例和营养价值；并通过绵羊活体研究棉秆的消化率，以玉米秸秆饲粮为对照，研究饲喂棉秆饲粮对绵羊自由采食量、消化代谢、体增重、屠宰性能和羊肉安全性的影响，以期对棉秆及棉秆饲粮的饲用性进行科学、客观评价。

1　材料与方法

1.1　试验设计与试验动物

本研究共分 4 个试验：试验 1 为棉秆测定试验，试验 2、3 为消化代谢试验，试验 4 为饲喂试验。

试验 1 将棉秆分成全株、粗茎、细枝、叶、棉桃壳等部位，测定各部位所占整个植株的比例和概略养分含量，以对棉秆的营养价值进行初步评定。

试验 2 选取 6 只约 2 岁、体重（48.50±1.50） kg 空怀小尾寒羊母羊，采用自身对照设计，在限饲条件下进行 2 期消化代谢试验。试验中给予相同混合精料，在此基础上分别喂给 400 g 棉秆（饲粮 1）或 800 g 棉秆（饲粮 2），测定各试验组绵羊对棉秆干物质、有机物、粗蛋白质等的表观消化率，并采用差数法估算棉秆表观消化率，计算方法为 2 个饲粮组之间消化量的差值除以 2 个饲粮组之间的采食量的差值，再乘以 100[11]。计算公式为：

$$\text{棉秆表观消化率（\%）}=\frac{\text{饲粮2消化量}-\text{饲粮1消化量}}{\text{饲粮2采食量}-\text{饲粮1采食量}}\times 100\text{。}$$

试验 3 选取 6 只约 2 岁、体重（52.60±2.20） kg 空怀小尾寒羊母羊，采用自身对照设计，在自由采食条件下以玉米秸秆（70%）饲粮（饲粮 3）为对照，研究绵羊对棉秆（70%）饲粮（饲粮 4）的消化代谢，以评价棉秆饲粮的营养价值。

试验 4 选取 6 月龄、体重（29.20±0.80） kg 的小尾寒羊公羔 12 只，根据体重分为 2 组（每组 n=6），在自由采食的条件下，玉米秸秆（60%）饲粮（饲粮 5）为对照组，棉秆（60%）饲粮（饲粮 6）为试验组，连续饲喂 120 d，以比较 2 种饲粮对绵羊屠宰性能的影响；测定棉秆组绵羊组织样中游离棉酚和主要农药残留含量。

以上 6 种饲粮的组成、营养成分和饲喂方式见表 1。饲喂的棉秆按 2.00 g/kg 加入七水硫酸亚铁。

表 1　饲粮组成、营养水平和饲喂方式（干物质基础）

Table 1　Composition, nutrient levels and feeding mode of diets (DM basis)　　%

项目 Items	试验 2 Experiment 2		试验 3 Experiment 3		试验 4 Experiment 4	
	饲粮 1 Diet 1	饲粮 2 Diet 2	饲粮 3 Diet 3	饲粮 4 Diet 4	饲粮 5 Diet 5	饲粮 6 Diet 6
饲喂方式 Feeding mode	限饲	限饲	自由采食	自由采食	自由采食	自由采食
原料 Ingredients						
棉秆 Cotton stalk	57.10	72.55	—	70.00	—	60.00
玉米秸秆 Corn stalk	—	—	70.00	—	60.00	—
粉碎玉米 Crushed corn	26.70	17.00	18.70	18.70	24.80	24.80
棉籽粕 Cotton meal	8.20	5.20	5.70	5.70	7.64	7.64
菜籽粕 Rapeseed meal	2.70	1.70	1.90	1.90	2.50	2.50
石粉 Stone power	3.17	2.04	2.60	2.60	3.64	3.64
尿素 Urea	0.74	0.46	0.20	0.20	0.25	0.25
硫酸钠 Na_2SO_4	0.37	0.23	0.10	0.10	0.12	0.12
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.57	0.37	0.35	0.35	0.60	0.60
粗盐 Crude salt	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
微量元素及维生素添加剂 Trace elements and vitamin additive[1)]	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
合计 Total	100．00	100．00	100．00	100．00	100．00	100．00
营养水平 Nutrient levels[2)]						
有机物 Organic matter	88.50	88.30	89.70	90.90	90.50	93.30
粗蛋白质 Crude protein	12.90	10.70	10.50	14.90	12.10	16.40
纤维素 Cellulose	28.40	34.30	25.50	29.40	22.80	26.20
半纤维素 Hemicellulose	16.10	16.50	27.10	16.40	24.40	16.10
木质素 Lignin	6.90	8.40	3.50	6.80	3.20	6.60
钙 Ca	0.90	0.80	0.90	0.80	0.90	1.30
磷 P	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

总能 Gross energy/(MJ/kg)	24.20	23.90	23.40	24.20	23.90	24.20

1)微量元素及维生素添加剂为每千克饲粮提供 The trace elements and vitamin additive provided the following per kg of diets: Co (as cobalt chloride) 0.2 mg, Cu (as copper) 11 mg, Fe (as ferrous-sulfate) 50 mg, I (as potassium iodide) 0.8 mg, Se (as sodium selenite) 0.8 mg, Zn (as zinc sul-fate)35 mg, VA 2 500 IU,VD 500 IU。

2)营养水平为实测值。Nutrient levels were measured values.

羊只均单栏饲养，每天 10:00 和 18:00 各饲喂 1 次。饲喂时先精后粗，每次混合精料和棉秆的喂量均为当天总量的 1/2。自由饮水。

1.2 样品的收集、处理与保存

1.2.1 消化代谢试验

在消化代谢期将羊只置于代谢笼内，预试期 14 d，正试期 8 d（收集粪尿等），每期共 22 d。

在正试期采用全收粪法连续收集粪、尿样 8 d，于每天 09:00 分别收集每只试验羊的全部粪、尿。按每只羊当天粪重的 10%收取粪样，于干燥通风处阴干，每期试验结束后，将同一只羊所有粪样混合均匀，风干称重，常温保存，测定前将约 100 g 样品粉碎，全部过 40 目筛，密封保存。尿样称重后用纱布过滤，称重取 10%倒入已编号的 600 mL 塑料瓶中（第 1 次盛样时一次性加入 2 mL 1:1 盐酸，即 1 体积浓盐酸加入 1 体积的去离子水中，浓度约为 6 mol/L），于 4 ℃密封保存。在正试期每天 09:00 分别收集各羊的全部剩料，准确称重记录，阴干常温保存。

在试验各期的正试期前 1 天开始，连续 8 d 每天采集混合精料 100 g、粉碎棉秆或玉米秸秆 250 g，称重后阴干，按四分法取样密封保存。将风干的饲粮、剩料粉碎过 40 目筛，密封保存。

记录每只羊每天的采食量。

1.2.2　屠宰试验

将试验羊禁食 24 h、禁水 12 h，称体重后采用大抹脖法屠宰动物。将胴体静止 30 min 后称重，室温下将胴体分割为肩背部、臀部、颈部、胸部、腹部、前腿和后小腿。将上述部位的肉与骨分离，分离时要剔净，不要损伤骨膜，分别称取各部位骨、瘦肉和肥肉的重量。

在屠宰试验中同时采集 2 组绵羊的肌肉、心脏、肝脏、肾脏和睾丸组织样，将采集鲜样破碎并测定其游离棉酚和主要农药残留含量。其中，主要农药残留及其检出限见下表 2。

表 2　主要农药残留及其检出限

Table 2　Main pesticide residues and their detection limit

序号 No.	中文名称 Chinese name	英文名称 English name	检出限 Detection limit/(μg/kg)	检测方法 Detection method
1	噻虫嗪	Thiamethoxam	16.50	GB/T 20772—2008
2	吡虫啉	Imidacloprid	11.00	GB/T 20772—2008
3	阿维菌素	Avermectin	5.00	SN/T 1973—2007
4	硫丹	Endosulfan	0.20	SN/T 1873—2007
5	毒死蜱	Chlorpyrifos	26.90	GB/T 20772—2008
6	丙溴磷	Profenofos	1.01	GB/T 20772—2008
7	矮壮素	Chlormequat	10.00	李春梅等[12]

1.4　样品测定

饲料原料、尿、粪和剩料样品中的干物质、有机物、粗蛋白质、纤维素、半纤维素、木质素、能量和磷含量采用常规饲料分析方法测定[13]。其中：

纤维素含量（%）=酸性洗涤纤维（ADF）值-72%硫酸处理后残渣值；

半纤维素含量（%）=中性洗涤纤维（NDF）值-ADF 值；

酸性洗涤木质素(ADL)含量（%）=72%硫酸处理后残渣值-灰化残渣值。

钙含量用邻甲酚酞比色法测定[14]。

棉秆样中游离棉酚含量测定按照 SN 0535—1996 方法[15]测定；试验羊组织样中游离棉酚测定按照 GB 5009.148—2014 方法[16]测定。试验羊组织样中农残测定项目为噻虫嗪、吡虫啉、阿维菌素、硫丹、毒死蜱、丙溴磷和矮壮素，农残测定按照 GB/T 20772—2008 液相色谱-串联质谱法[17]、SN/T 1873—2007 气相色谱-串联质谱法（硫丹）[18]、SN/T 1973—2007 液相色谱-串联质谱法（阿维菌素）[19]和液相色谱-串联质谱法（矮壮素）[12]测定。

1.5 统计分析

数据均以平均值±标准差表示，使用 SPSS 17.0 软件进行独立样本 t 检验。试验 1 中棉秆各部分养分含量平均值之间采用多重比较。$P>0.05$ 为差异不显著，$P<0.05$ 为差异显著，$P<0.01$ 为差异极显著。

2 结 果

2.1 棉秆的成分

如表 3 所示，棉秆中粗茎比例为 31.48%，细枝比例为 10.99%，叶比例为 17.12%，棉桃壳比例为 40.41%。

表 3 棉秆粗茎、细枝、叶、桃的重量和比例（不含根部）(干物质基础)

Table 3 Weight and ratio of main stem, branches, leaves and cotton boll shell in the cotton stalk （roots not included) (DM basis，*n*=120)

项目 Items	全株 As whole	粗茎 Main stem	细枝 Branches	叶 Leaves	棉桃壳 Cotton boll shell
重量 Weight/g	32.18±18.27	9.13±4.08	4.02±3.16	5.68±4.93	13.35±8.32
比例 Ratio/%	100．00	31.48±9.01	10.99±5.01	17.12±10.28	40.41±7.15

样品来源：新疆呼图壁种牛场。下表同。

Sample source: Hutubi cow breeding farm in *Xinjiang*. The same as below.

如表 4 所示，棉秆全株的有机物、粗蛋白质、纤维素、半纤维素和木质素含量分别为 90.00%、6.41%、34.80%、15.60%和 10.30%。

表 4 棉秆和玉米秸秆全株（不含根部）及棉秆各部分概略养分含量(干物质基础)

Table 4 Content of approximate nutrients in whole cotton stalk and whole corn stalk（roots not included), and the parts of cotton stalk (DM basis, n=4) $^{1)}$

项目 Items	棉秆全株 Whole cotton stalk	粗茎 Main stem	细枝 Branches	叶 Leaves	棉桃壳 Cotton boll shell	玉米秸秆全株 Whole corn stalk$^{2)}$
干物质 Dry matter/%	94.44±0.17^{x}	94.50±0.34	93.82±0.53	93.26±0.64	93.56±0.53	87.42±0.45^{y}
有机物 Organic matter/%	90.03±0.54^{Aax}	93.75±0.71^{Aa}	91.05±0.65^{Aa}	81.67±1.35^{Bb}	92.06±0.21^{Aa}	85.64±0.33^{y}
粗蛋白质 Crude protein/%	6.41±0.59^{AaY}	4.59±1.00^{Bb}	6.34±1.07^{Aa}	11.52±1.61^{Cc}	6.03±0.66^{Aa}	5.68±0.75^{X}
纤维素 Cellulose/%	34.76±0.37^{Aa}	47.19±3.76^{Bb}	42.26±1.05^{Cc}	19.02±4.25^{Dd}	38.63±1.56^{CEe}	33.54±1.39
半纤维 Hemicellulose/%	15.58±0.86^{AaY}	17.43±1.07^{Bb}	16.92±0.87^{Ab}	15.46±1.33^{Aa}	15.50±1.25^{Aa}	32.48±1.02^{X}
木质素 Lignin/%	10.29±0.54^{AaY}	14.24±0.81^{Bb}	10.74±0.22^{Aa}	4.93±0.24^{Cc}	8.24±0.27^{Dd}	4.59±0.34^{X}
钙 Calcuim/%	0.54±0.01^{AaY}	0.49±0.08^{Ab}	0.71±0.06^{Bb}	0.71±0.08^{Bb}	0.55±0.02^{Aa}	0.62±0.12^{X}
磷 Phosphorus/%	0.16±0.01^{AaY}	0.14±0.01^{Bb}	0.19±0.01^{Cc}	0.16±0.01^{Aa}	0.24±0.02^{Dd}	0.10±0.01^{X}
总能 Gross energy/ (MJ/kg)	23.34±0.22^{Aa}	25.78±0.46^{Bb}	26.60±0.19^{Bb}	23.29±0.71^{Aa}	25.89±0.26^{Bb}	23.89±0.49
游离棉酚 Free gossypol/ (mg/kg)	291.9±11.10	205.3±6.10	273.4±9.50	354.8±15.50	337.8±13.60	—

同行数据肩标无字母或相同小写字母表示差异不显著(P>0.05)，不同小写字母表示差异显著(P<0.05)，不同大写字母表示差异极显著(P<0.01)。下表同。

In the same row, values with no letter or the same small letter superscripts mean no significant difference (P > 0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P < 0.05), and with different capital letter superscripts mean significant difference (P<0.01). The same as below.

1)棉秆品种为“新陆早 50”，拾花结束后收割；玉米秸秆品种为“335”，收获玉米后收割。Cotton variety is “XinLu-Zao 50”, collected after harvested. Corn variety is “335”, collected after harvested.

2)玉米秸秆全株组数据仅与棉秆全株组进行比较（x,y 和 X,Y 标注显著性），其他各组间进行多重比较。The data of the whole corn stalk group only compared with those of the whole cotton stalk group (x, y and X, Y mean significant difference), and multiple comparisons analyze was carried out among other groups.

2.2　绵羊对棉秆的消化率

试验结果表明，绵羊对棉秆饲粮 2 干物质、有机物采食量较饲粮 1 均增加 56.20%（P ＜0.01）；绵羊棉秆饲粮 2 干物质、有机物消化量较饲粮 1 分别增加 37.60%（P＜0.01）、36.10%（P＜0.01）。

用差数法计算棉秆消化率，如表 5 所示，绵羊对棉秆纤维素、半纤维素和钙有较好的消化性，消化率均在 57%以上，对干物质、有机物、能量和磷的消化率也较高，均在 38%以上。棉秆的消化能为 10.28 MJ/kg DM（44.05%×总能）（表 4）。

表 5　绵羊对不同棉秆含量饲粮的消化性

Table 5　Digestibility of sheep on the diets containing different contents of cotton stalk (n=6)

项目 Items	采食量 Intake/(g/d)		消化量 Digested amount/(g/d)		消化率 Digestibility/%		棉秆消化率 Digestibility of cotton stalk /%
	饲粮 1 Diet 1	饲粮 2 Diet 2	饲粮 1 Diet 1	饲粮 2 Diet 2	饲粮 1 Diet 1	饲粮 2 Diet 2	
干物质 Dry matter	661.18±0.59^A	1 033.37±9.61^B	379.39±10.91^A	521.97±27.35^B	57.43±1.67^A	50.52±2.70^B	38.24±7.37
有机物 Organic matter	618.93±0.60^A	966.51±8.66^B	366.93±10.41^A	499.18±29.60^B	59.29±1.70^A	51.65±2.98^B	37.99±7.96
粗蛋白质 Crude protein	90.98±0.26^A	116.98±0.42^B	53.99±2.03	54.40±3.63	59.35±2.24^A	46.44±3.12^B	1.58±0.02
纤维素 Cellulose	198.75±0.01^A	374.35±4.52^B	104.78±7.08^A	210.95±13.43^B	52.72±0.04	56.37±0.04	60.50±9.76

半纤维素 Hemicellulose	112.50±0.12A	179.73±2.00B	67.35±2.89A	106.43±6.77B	59.87±2.58	59.22±3.83	58.13±13.43
木质素 Lignin	48.70±0.09A	91.88±1.38B	0.43±0.02A	1.48±0.08B	0.88±0.01	1.61±0.09	2.30±0.07
钙 Calcium	9.44±0.02A	14.68±0.02B	6.79±0.07A	9.82±0.28B	71.98±0.80A	66.91±1.91B	57.76±5.30
磷 Phosphorus	1.69±0.01A	2.33±0.01B	0.89±0.05A	1.07±0.01B	52.90±1.69A	46.24±1.25B	45.00±1.00
总能 Gross energy/(MJ/kg)	14.39±0.01A	22.53±0.20B	8.19±0.16A	11.77±0.53B	56.90±1.18	52.27±2.43	44.05±7.10

2.3 绵羊对棉秆饲粮的消化代谢

如表 6 所示，饲喂棉秆饲粮组和玉米秸秆饲粮组间的绵羊自由采食量无显著差异（$P>0.05$）。

表 6 绵羊对棉秆和玉米秸秆饲粮（70%）的自由采食量（干物质基础）

Table 6 Free intake of cotton stalk diet and corn stalk diet (70%) of sheep (DM basis, n=6)

g/d

项目 Items	干物质 Dry matter	有机物 Organic matter	混合精料 Mixed concentrate	粉碎秸秆 Crushed stalk
饲粮 3（玉米秸秆） Diet 3 (corn stalk)	1 350.92±30.27	1 202.77±26.86	464.10±0.10	886.88±30.28
饲粮 4 （棉秆） Diet 4 (cotton stalk)	1 364.80±34.95	1 207.64±32.08	464.10±0.10	900.79±34.91

如表 7 所示，绵羊对棉秆饲粮干物质、有机物、粗蛋白质、纤维素、半纤维素和能量的（表观）消化率比玉米秸秆分别低 5.00%（$P>0.05$）、5.30%（$P<0.05$）、3.50%（$P>0.05$）、10.00%（$P<0.05$）、9.60%（$P>0.05$）和 13.60%（$P<0.01$），棉秆饲粮的（表观）消化率，特别是纤维素类物质和能量的消化率，低于玉米秸秆饲粮。

如表 7 所示，绵羊对棉秆饲粮半纤维素、能量和磷的消化量比玉米秸秆分别低 22.80%（$P<0.01$）、14.40%（$P<0.01$）和 23.00%（$P<0.01$），干物质、有机物消化量趋于减少，但是钙的消化量极显著增加（$P<0.01$），纤维素、粗蛋白质的消化量呈现增加趋势（$P>0.05$）。

表 7 绵羊对棉秆和玉米秸秆饲粮（70%）的消化性

Table 7　Digestibility of cotton stalk diet and corn stalk diets (70%) of sheep (n=6)

项目 Items	饲粮 3 （玉米秸秆） Diet 3 (corn stalk)	饲粮 4 （棉秆） Diet 4 (cotton stalk)
（表观）消化率 (Apparent) digestibility/%		
干物质 Dry matter	60.25±5.89	57.27±4.95
有机物 Organic matter	58.24±4.97^{a}	55.15±5.54^{b}
粗蛋白质 Crude protein	60.12±4.52	58.04±4.92
纤维素 Cellulose	62.37±5.71^{a}	56.11±4.44^{b}
半纤维素 Hemicellulose	64.18±4.86^{a}	58.03±4.41^{b}
木质素 Lignin	2.24±0.29^{A}	1.34±0.12^{B}
能量 Energy	72.87±4.25^{A}	62.94±5.43^{B}
钙 Calcuim	32.61±2.95^{A}	68.52±5.04^{B}
磷 Phosphorus	29.70±2.37^{A}	46.94±3.97^{B}
消化量 Digested amount/（g/d)		
干物质 Dry matter	813.92±65.22	781.37±54.18
有机物 Organic matter	700.45±58.64	665.98±51.88
粗蛋白质 Crude protein	95.68±8.25	102.14±8.38
纤维素 Cellulose	258.19±13.51	265.48±14.85
半纤维素 Hemicellulose	178.89±9.75^{A}	138.08±7.50^{B}
木质素 Lignin	0.92±0.25	1.25±0.34
钙 Calcuim	5.45±0.04^{A}	12.30±1.15^{B}
磷 Phosphorus	0.75±0.01^{A}	1.61±0.04^{B}
能量 Energy/（MJ/d)	24.62±5.37^{A}	21.08±2.63^{B}

如表 8 所示，饲喂棉秆饲粮时，绵羊的氮采食量增加 14.20%（P＜0.01），而粪氮和尿氮分别增加 9.70%（P＜0.05）和减少 17.20%（P＜0.01），棉秆饲粮氮更有益于绵羊的氮营养，从而使氮沉积量和沉积率分别提高 47.90%（P＜0.01）和 29.50%（P＜0.01）。

饲喂棉秆饲粮时绵羊的钙沉积量和沉积率分别提高 82.90%（P＜0.01）和 70.20%（P＜0.01）。绵羊的磷沉积量和沉积率分别增加 61.20%（P＜0.01）和 31.50%（P＜0.01）。

表 8　饲喂棉秆或玉米秸秆饲粮（70%）绵羊的氮、钙和磷代谢

Table 8　Metabolism of nitrogen, calcium and phosphorous of sheep fed cotton stalk diet or corn stalk diet (70%) (n=6)

项目 Items	饲粮 3 （玉米秸秆） Diet 3 (corn stalk)	饲粮 4 （棉秆） Diet 4 (cotton stalk)
氮 Nitrogen		
食入 Intake/（g/d)	24.65±1.75^{A}	28.16±0.67^{B}
粪氮 Fecal nitrogen/（g/d)	9.34±1.25^{a}	10.25±0.23^{b}
尿氮 Urinary nitrogen/（g/d)	7.27±0.71^{A}	6.02±0.65^{B}
沉积量 Retention/（g/d)	8.04±0.85^{A}	11.89±0.98^{B}
沉积率 Retention rate/%	32.62±1.14^{A}	42.25±2.48^{B}
钙 Ca		
食入 Intake/（g/d)	16.71±0.62^{a}	17.95±0.47^{b}
粪钙 Fecal Ca/（g/d)	10.37±0.56^{A}	6.72±0.85^{B}
尿钙 Urinary Ca/（g/d)	0.37±0.02^{A}	0.31±0.01^{B}
沉积量 Retention/（g/d)	5.97±0.58^{A}	10.92±1.15^{B}
沉积率 Retention rate/%	35.73±2.15^{A}	60.85±1.53^{B}
磷 P		
食入 Intake/（g/d)	2.51±0.34^{A}	3.07±0.42^{B}
粪磷 Fecal P/（g/d)	1.54±0.23^{A}	1.60±0.31^{B}
尿磷 Urinary P/（g/d)	0.12±0.02^{A}	0.10±0.01^{B}
沉积量 Retention/（g/d)	0.85±0.12^{A}	1.37±0.15^{B}
沉积率 Retention rate/%	33.86±0.20^{A}	44.63±1.25^{B}

2.4　饲喂棉秆饲粮对绵羊生长和屠宰性能的影响

试验结果（表 9）显示，饲喂棉秆饲粮绵羊的自由采食量比饲喂玉米秸秆饲粮的低 6.9%。但是 2 组间的 120 d 平均日增重无显著差异（*P*＞0.05）。

表 9　饲喂棉秆饲粮或玉米秸秆饲粮（60%）120 d 绵羊的平均日增重

Table 9　Average daily body weight gain of sheep fed cotton stalk diet or corn stalk diet (60%) in 120 d (*n*=6)

项目 Items	自由采食量 Free intake/（g/d）	初体重 Initial weight/kg	末体重 Final weight/kg	平均日增重 Average daily body weight gain/(g/d)
饲粮 5 （玉米秸秆） Diet 5 （corn stalk）	1 249.5±23.52	28.90±0.80	39.33±2.44	86.50±18.57
饲粮 6 （棉秆） Diet 6 （cotton stalk）	1 168.8±22.81	29.50±0.79	40.26±3.08	89.67±19.92

如表 10 所示，屠宰试验表明，采食棉秆饲粮和玉米秸秆饲粮绵羊之间的活体重、胴体重、屠宰率、胴体瘦肉重无显著差异（*P*＞0.05）。但是肥肉重棉秆饲粮组极显著低于玉米秸秆饲粮组（*P*＜0.01）；胴体骨重极显著高于玉米秸秆饲粮组，比玉米秸秆组高 13.23%（*P*＜0.01）。

表 10　饲喂棉秆饲粮或玉米秸秆饲粮（60%）绵羊的屠宰性能比较

Table 10　Comparison of slaughter performance of sheep fed cotton stalk diet or corn stalk diet （60%） (*n*=6)

项目 Items	饲粮 5 （玉米秸秆） Diet 5 (corn stalk)	饲粮 6 （棉秆） Diet 6 (cotton stalk)
活体重 Live weight/kg	39.33±2.44	40.26±3.08
胴体重 Carcass weight/kg	16.57±1.39	16.22±1.70
屠宰率 Dressing rate/%	41.16±1.40	41.17±2.11
胴体瘦肉重 Carcass lean yield/kg	10.26±1.50	10.51±0.98
肥肉重 Fat weight/kg	1.18±0.52^{A}	0.88±0.25^{B}
胴体瘦肉率 Carcass lean ratio/%	63.04±3.41	63.42±2.21

胴体骨重 Carcass bone weight/kg	3.78 ± 0.51^{B}	4.28 ± 0.66^{A}
肉骨比 Meat-bone ratio	3.20 ± 0.14	2.88 ± 0.29

2.5 饲喂棉秆饲粮对绵羊组织样游离棉酚和农药残留含量的影响

屠宰试验棉秆组绵羊的肌肉、心脏、肝脏、肾脏和睾丸组织样中游离棉酚以及主要农药残留含量均未检出。

3 讨 论

3.1 棉秆的消化特点

棉秆一直被认为是木质素含量高、概略养分低、可消化性差的粗饲料，但是缺乏客观的科研数据支撑。本试验研究表明，与玉米秸秆比较，棉秆木质素含量较高，半纤维素含量较低，但粗蛋白质、纤维素、钙、磷和总能含量与玉米秸秆相当。这与人们一贯的看法有着较大差距。

关于棉秆消化率，在动物试验上的研究甚少。尼龙袋法和体外产气技术试验结果显示，棉秆的干物质有效降解率为33.30%[20]，而本研究结果显示，采用差数法测得的棉秆干物质消化率为38.20%，较尼龙袋法和体外产气技术试验高14.71%。产生这种差异的原因可能与绵羊瘤胃中丰富、有效的纤维降解菌有关，而尼龙袋法中发酵物与瘤胃液的直接接触受阻，体外法发酵的环境无法与瘤胃内部环境达到完全一致；其次本试验所饲喂的棉秆其叶、棉桃壳、棉细枝等留存较完好，其有效利用部分较多，相对而言木质素含量较低，使干物质的有效消化率提高。魏敏等[20]采用尼龙袋法研究新疆奎屯地区整株棉秆养分消化情况，推算棉秆消化能为6.38 MJ/kg DM；方雷等[21]绵羊活体试验结果显示，绵羊对粉碎棉秆消化能的范围是6.57～7.66 MJ/kg DM。本试验采用差数法测得棉秆的消化能为10.28 MJ/kg。由于棉花品种多，南北疆棉花收获时间不一致，因此，导致棉秆纤维化程度不一，木质素含量差别较大，适时收获更有益于棉秆作为绵羊的粗饲料利用。本试验的结果显示，绵羊对棉秆粗蛋白质的表观消化率仅为1.58%，所以能被利用的粗蛋白质极低。与棉秆粗纤维，特别是木质素含量

高有关，纤维素和木质素对氮（包括内源氮）有吸附作用，阻碍了绵羊对粗蛋白质的利用。因此，在实际生产中建议将棉秆为主的粗饲料饲粮氮含量以 0 计为宜。

本试验绵羊对棉秆有机物、纤维素、半纤维素、钙、磷的表观消化率分别为 38.00%、60.50%、58.10%、57.80%和 45.00%，表明绵羊能够较好地消化棉秆中纤维素、半纤维素、钙和磷，而有机物消化率较低主要与棉秆纤维化程度有关，由于木质素含量高且不被消化、造成粗蛋白质消化率低；另外，随着棉秆采食量的增加，绵羊干物质、有机物、粗蛋白质、钙、磷的表观消化率显著降低，但是对纤维素、半纤维素的表观消化率无显著性影响。棉秆中木质素含量直接影响其消化，魏敏等[20]、方雷等[21]测定的棉秆木质素含量分别为 15.30%和 17.10%，而本试验则为 10.29%，与上述结果有差异，可能与棉花品种、发酵方式及棉秆整株营养价值有关。

综上所述，棉秆具有一定的营养价值，可以作为牛羊粗饲料加以利用。

3.2　棉秆饲粮的营养价值

哈丽代•热合木江等[22]研究粉碎或颗粒化棉秆饲喂绵羊对增重的影响，结果显示，棉秆饲粮可提高绵羊育肥效益，且棉秆颗粒化组高于粉碎组，说明棉秆作为绵羊肥育用粗饲料具有较好的营养价值。本研究的结果表明，玉米秸秆饲粮组和棉秆饲粮组间的绵羊自由采食量无显著差异；平均日增重和屠宰性能除肥肉重和胴体骨重外，其他指标均无显著差异。而肥肉减少和骨重增加与棉秆消化能较低、钙磷较多的特点相吻合。从生产角度看，棉秆饲粮的能量供应略少，钙磷的营养略好。总体来看，饲喂棉秆饲粮和玉米秸秆饲粮的效果几乎相同，表明棉秆饲粮的营养价值与玉米秸秆饲粮相当。

本研究的第 2 阶段，通过研究科学有效的新方法来提高棉秆饲粮营养价值和利用性。众所周知，实现反刍动物对粗饲料的最佳利用效果，可以通过适宜的营养补添，并且优化瘤胃环境。而通过物理和化学方法在内的粗饲料加工对其营养品质改善有限。营养补添是开发粗饲料营养潜力的根本途径[23]。相关研究均认为，在实际生产中，通过适宜的营养补添来调控

微生物区系的生长，以达到提高动物对粗饲料利用效率的目的[24-26]。本研究后期试验则通过添喂棉秆专用营养添加剂并加以科学处理来提高棉秆的利用性，初步结果表明，棉秆的利用率显著提高，效果明显。

4 结 论

在本试验可以得出以下结论：

① 棉秆中棉桃壳、细枝和叶 3 部位比例之和约 70%，可采食、可利用部分资源量较大。

② 从木质化程度看，棉秆不同部位的营养价值依次为叶＞棉桃壳＞细枝＞粗茎。

③ 棉秆的木质素含量较高，粗蛋白质表观消化率极低，较玉米秸秆能量低、钙磷营养高。

④ 饲喂棉秆饲粮与玉米秸秆饲粮绵羊间的自由采食量和粗蛋白质消化率均无显著差异。

⑤ 饲喂棉秆饲粮与玉米秸秆饲粮对绵羊增重、屠宰性能的影响无显著差异，二者的饲喂效果相当。

⑥ 饲喂棉秆饲粮的绵羊组织样未检出游离棉酚及主要农药残留，食品安全性未受到影响。

参考文献：

[1] 许国英,热合木都拉,马英杰.棉花秸秆的饲用价值研究[J].新疆畜牧业,1998(3):10–11.

[2] 魏敏,雒秋江,王东宝,等.棉花秸秆作为绵羊粗饲料的研究[J].草食家畜,2003(3):47–49.

[3] 方雷,雒秋江,南海荣,等.添加剂和制粒对多浪羊棉花秸秆日粮消化利用的影响[J].中国畜牧兽医,2005,32(8):18–20.

[4] 阿布来提•塔力甫.新疆喀什地区棉花秸秆开发利用及绵羊饲喂效果研究[J].畜牧与饲料科学,2016,37(1):64–67.

[5] 高瑞芳,张吉树.新疆棉花秸秆饲料化开发利用研究[J].中国畜牧杂志,2016,52(8):76–80.

[6] 许栋,王梅.新疆棉秆资源饲料化利用现状及产业化生产途径[J].新疆畜牧业,2016(10):17–18.

[7] 李兴莲,许世新,李红军,等.棉花秸秆新饲料饲喂育肥牛试验初报[J].新疆畜牧业,2015(增刊1):21–22.

[8] 岳斌.棉花秸秆不同搭配比例饲喂肉羊试验研究[J].青海畜牧兽医,2010,40(5):11–12.

[9] 刘艳丰,唐淑珍,桑断疾.新疆棉花秸秆作为饲料资源的利用开发现状[J].中国奶牛,2009(9):22–30.

[10] 杨皓.棉花秸秆经生物发酵后饲喂牛羊的试验结果[J].当代畜牧业,2003(7):40–41.

[11] HALE W H,LAMBETH C,THEURER B,et al.Digestibility and utilization of cottonseed hulls by cattle[J].Journal of Animal Science,1969,29(5):773–776.

[12] 李春梅,金芬,徐思远,等.固相萃取-液相色谱-串联质谱法检测小鼠肌肉组织中矮壮素[J].分析化学,2012,40(12):1924–1928.

[13] 杨胜.饲料分析及饲料质量检测技术[M].北京:中国农业出版社,1993.

[14] 傅启高,雒秋江.用邻-甲酚酞比色法测定饲料中钙含量的研究[J].动物营养学报,1996,8(3):25–30.

[15]中华人民共和国国家进出口商品检验局.SN 0535–1996 出口饲料中棉酚检验方法 液相色谱法[S].北京:中国标准出版社,1996.

[16]国家卫生和计划生育委员会.GB 5009.148–2014 食品安全国家标准 植物性食品中游离棉酚的测定[S].北京:中国标准出版社,2015.

[17]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 20772–2008 动物肌肉中 461 种农药及相关化学品残留量的测定 液相色谱-串联质谱法[S].北京:中国标准出版社,2009.

[18]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.SN/T 1873–2007 进出口食品中硫丹残留量的检测方法 气相色谱-质谱法(附英文版)[S].北京:中国标准出版社,2007.
[19]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.SN/T 1973–2007 进出口食品中硫丹残留量的检测方法 气相色谱-质谱法(附英文版)[S].北京:中国标准出版社,2007.
[20] 魏敏,雒秋江,潘榕,等.对棉花秸秆饲用价值的基本评价[J].新疆农业大学学报,2003,26(1):1–4.
[21] 方雷,贾强.棉花秸秆不同部位饲用价值的评定[J].当代畜牧,2009(1):25–27.
[22] 哈丽代·热合木江,阿依古丽·达噶尔别克,扎依尔·艾山,等.粉碎或颗粒化棉花秸秆饲喂绵羊对增质量的影响[J].饲料研究,2014(13):52–53.
[23] CHEEKE P R.Applied animal nutrition[M].2nd ed.New York:Prentice Hall,1999.
[24] 祁茹,林英庭,程明,等.瘤胃微生物区系及其相互关系的研究进展[J].饲料博览,2011(8):9–13.
[25] 董辉,陈凯,赵景鹏,等.提高反刍动物对粗饲料的利用率[J].中国饲料添加剂,2005(4):30–33.
[26] 张勇,朱宇旌.日粮营养补添与粗饲料利用[J].中国畜牧杂志,2004,40(3):41–43.

Nutritional Value of Cotton Stalk and Its Effects on Digestion Metabolism of Nutrients, Growth and Mutton Safety of Sheep

ZHANG Guoqing[1,2] LUO Qiujiang[1*] ZANG Changjiang[1] LI Fengming[1] ZHANG Jirong[2]
(*1. Laboratory of Animal Nutrition, Xinjiang Agricultural University, Urumchi* 830052*, China;*

2. Yili Vocational and Technical College, Yining 835000*, China*)

Abstract: To evaluate feed characteristics and nutritional value of cotton stalk and cotton stalk diet, and mutton safety of sheep fed the cotton stalk diet, this study was carried out to investigate effects of cotton stalk parts ratio, approximate nutrients, overall digestibility, free intake, digestion and metabolism of the cotton stalk on growth and slaughter performance, and mutton safety of sheep fed the cotton stalk diet. In experiment 1, the cotton stalk parts ratio and approximate nutrients in cotton stalk were determined. In experiment 2, the digestibility of cotton stalk in sheep was estimated by difference method under restricted feeding. In experiment 3, a corn stalk diet as a control, the digestion and metabolism of cotton stalk diet for sheep was evaluated by self control design. In experiment 4, 120 days of feeding experiment was conducted to study on the effects of the growth and slaughter performance of sheep fed the corn stalk diet and the cotton stalk diet, and the contents of free gossypol and main pesticide residues in sheep tissue samples were determined. The results showed that the ratios of main stem, branches, leaves and cotton boll shell of cotton stalk were 31.48%， 10.99%， 17.12% and 40.41%, respectively. The contents of organic matter, crude protein, cellulose, hemi-cellulose and lignin of cotton stalk were 90.00%， 6.40%， 34.80%， 15.60% and 10.30%, respectively. The apparent digestibility of dry matter, organic matter, crude protein, cellulose, hemi-cellulose, energy, calcium and phosphorus of cotton stalk for sheep were 38.20%, 38.00%, 1.58%, 60.50%, 58.10%, 44.10%, 57.80% and 45.00%, respectively. The digestible energy of cotton stalk was 10.28 MJ/kg DM. Compared with the corn stalk diet, the apparent digestibility of organic matter, cellulose, energy of sheep fed the cotton stalk diet were lower by 5.30%, 10.00% and 13.60%, respectively, but the apparent digestibility of calcium and phosphorus were higher by 52.40% and 36.70%, respectively, while there was no significant difference （$P>0.05$） in the free intake and digestibility, and as well no significant

difference （P>0.05） in daily body weight gain, carcass weight and carcass lean weight. The content of free gossypol and the main pesticide residues in the tissue samples of sheep was not detected. This study shows that the sum of cotton boll shell, branches, and leaves is approximately 70%, and it has a large amount of available resources in the 3 parts of the cotton stalk; cotton stalk is a roughage with higher content of lignin and lower apparent digestibility of crude protein (suggested as zero in practice), and its energy is lower, but the calcium and phosphorus nutrition contents are higher than corn stalk; there is no significant difference in the weight gain and slaughter performance of sheep between the cotton stalk diet group and corn stalk diet group, and the feeding effect is similar; free gossypol and main pesticide residues in tissue samples of sheep fed the cotton stalk diet are not detected, the food security is not affected.

Key words: cotton stalk; sheep; digestion and metabolism; growth; mutton safety

*Corresponding author, professor, E-mail: qjl@xjau.edu.cn (责任编辑　陈　鑫)